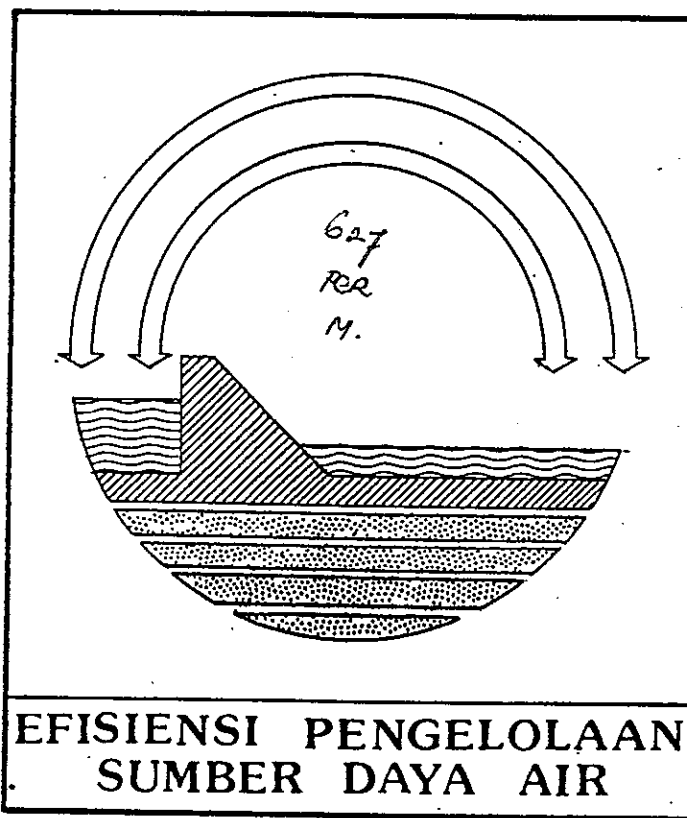


Pertemuan Ilmiah Tahunan IV (PIT IV)

29. MEKANISME ALIRAN PADA BELOKAN
SALURAN TERBUKA.

Makalah:

Ir. R. Wahyudi Triweko, M. Eng.
Erwindi Wiriadharma.



41768 / 7
23
12 - 87

SEMARANG, 8-10 SEPTEMBER 1987.



HATHI

Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia

35
17/3/88

MEKANISME ALIRAN PADA BELOKAN SALURAN TERBUKA *)

Oleh

Ir. R. Wahyudi Triweko, M.Eng.
Erwindi Wiriadharma

Fakultas Teknik Jurusan Sipil
Universitas Katolik Parahyangan
B a n d u n g

Ringkasan

Permasalahan mekanisme aliran pada belokan saluran terbuka adalah cukup rumit. Tulisan ini mencoba menjelaskan secara teoritis mekanisme dan sifat-sifat aliran tersebut.

Dalam tulisan ini dikembangkan secara matematis, mekanisme aliran di belokan saluran terbuka berdasarkan sistem koordinat kartesian dan sistem koordinat silinder. Kemudian sistem ini disederhanakan lagi mengingat kedalaman saluran pada umumnya berbeda jauh dari lebar dan jari-jari belokannya.

Penyederhanaan persamaan-persamaan aliran dilakukan melalui pendekatan fungsi-fungsi logaritma, parabola, eksponen, dan fungsi ellips. Dibandingkan dengan hasil percobaan di laboratorium, ternyata persamaan dengan fungsi logaritma yang paling mendekati keadaan yang sebenarnya.

*) Makalah ini disajikan dalam Pertemuan Ilmiah Tahunan IV Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI) pada tanggal 8-10 September 1987 di Semarang.

Pendahuluan

Penyelidikan gerakan air pada belokan saluran terbuka merupakan salah satu masalah yang penting dalam hidrolika. Beberapa penyelidikan telah dilakukan tetapi, sejauh ini hasilnya belum memuaskan.

Masalah yang sering dijumpai sehubungan dengan belokan pada saluran terbuka misalnya : terjadinya meander pada sungai, bangunan pengambilan pada bendung, dan normalisasi sungai untuk keperluan navigasi. Pada belokan saluran akan terjadi penggerusan di tikungan luar belokan yang mungkin membahayakan bangunan yang ada di dekat tikungan tersebut. Sedangkan di sebelah hilirnya terjadi pengendapan yang akan merubah penampang melintang saluran, yang tentunya akan mempengaruhi kapasitas aliran.

Oleh karena itu, studi mengenai mekanisme aliran di belokan saluran terbuka menjadi sangat penting, untuk menganalisa proses perubahan morfologi sungai serta cara menanggulangi masalah-masalah yang terjadi.

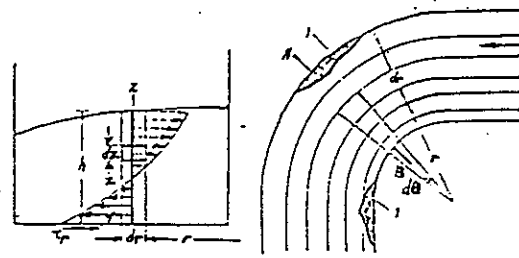
Pengetahuan tentang hukum-hukum aliran di belokan sungai diperlukan dalam merancang bangunan-bangunan hidroteknik guna menanggulangi masalah perubahan morfologi sungai yang menyebabkan gangguan ekosistem. Hal yang penting terutama mengenai distribusi kecepatan serta perbedaan-perbedaan lainnya dari aliran sungai yang lurus. Dari hasil pembahasan tersebut akan diperoleh persamaan-persamaan distribusi kecepatan yang dapat dipakai dalam perencanaan bangunan-bangunan hidroteknik.

Tulisan ini merupakan hasil studi literatur yang sebagian besar berasal dari buku I.L.Rozovskii yang berjudul 'Flow of Water in Bend of Open Channels' dan beberapa buku lain sebagai penunjang. Pembahasan dibatasi pada saluran terbuka dengan dinding yang licin.

Pembahasan diawali dengan teori-teori pendekatan secara matematis, dimulai dari persamaan umum dalam koordinat kartesian, kemudian dalam koordinat silinder dengan pendekatan fungsi-fungsi logaritma, parabola, eksponen dan ellips. Kemudian dibahas tentang distribusi kecepatan longitudinal dan transversal pada belokan saluran terbuka. Dan akhirnya hasil analisa tersebut dibandingkan dengan hasil penyelidikan di laboratorium.

Sifat-sifat Dasar Aliran pada Belokan Saluran Terbuka

Sebelum membahas aliran pada belokan saluran, perlu dijelaskan terlebih dahulu teori dan rumus-rumus dasar yang dipakai dalam pembahasan selanjutnya. Bentuk permukaan air berupa kurva datar yang terlihat pada Gambar 1 adalah inklinasi transversal dari permukaan bebas. Untuk mengambil pendekatan terhadap inklinasi ini, perlu dipakai kondisi keseimbangan pada suatu lajur aliran di belokan saluran selebar dr terhadap $r d\theta$ (lihat Gambar 1), dimana r adalah jari-jari dan θ adalah sudut pusat belokan.



Gambar 1. Inklinasi transversal permukaan dan sirkulasi transversal pada belokan sungai [1]

Dengan menganggap bahwa tekanan arah vertikal didistribusikan menurut hukum hidrostatika, maka pada potongan vertikal yang melalui sumbu putaran, akan timbul gaya-gaya sebagai berikut:

1. Gaya Sentrifugal

$$R_s = \alpha_0 \frac{V_{cp}^2}{r} \rho dr r d\theta h \quad (1)$$

2. Perbedaan tekanan pada sisi prisma

$$\Delta P \frac{d}{dr} \left(\rho g \frac{h^2}{2} \right) r d\theta dr = r d\theta dr \rho g h \frac{dh}{dr} \quad (2)$$

3. Gaya geser pada dasar saluran

$$T = \tau_{ro} r d\theta dr \quad (3)$$

Keseimbangan gaya-gaya tersebut bisa dituliskan sebagai berikut

$$R_s - \Delta P + T = \alpha_0 \frac{V_{cp}^2}{r} \rho dr r d\theta h - r d\theta h - r d\theta dr \rho g h \frac{dh}{dr} + \tau_{ro} r d\theta dr = 0 \quad (4)$$

Dari Pers.(4) dapat ditentukan besarnya kemiringan transversal dari permukaan bebas.

$$I_r = \frac{dh}{dr} = \alpha_0 \frac{V_{cp}^2}{gr} + \frac{\tau_{ro}}{\rho gh} \quad (5)$$

Nilai terbesar dari suku kedua pada Pers.(5) dalam banyak hal relatif kecil, sehingga Pers.(5) bisa didekati dengan

$$I_r \approx \alpha_0 \frac{V_{cp}^2}{g r} \quad (6)$$

Pers.(6) ini menunjukkan bahwa pada setiap belokan terjadi inklinasi transversal. Oleh karena itu taraf muka air pada sisi sebelah dalam belokan lebih rendah dari pada sisi luarnya.

Sifat lain yang dimiliki aliran di belokan adalah aliran transversal. Berdasarkan kondisi keseimbangan dari segmen selebar dz dan berjarak z dari dasar, maka gaya-gaya yang berpengaruh pada bidang datar radial adalah sebagai berikut:

1. Gaya Sentrifugal

$$R_s = \frac{v^2}{r} \rho dr r d\theta dz$$

2. Perbedaan tekanan pada kedua sisi, ΔP

Bila dianggap tekanan didistribusikan ke arah vertikal menurut hukum hidrostatika maka besarnya adalah

$$\Delta P = r d\theta dr \rho g \frac{dh}{dr} dz \quad (7)$$

Keseimbangan gaya-gaya tersebut adalah

$$R_s - \Delta P = \frac{v^2}{r} \rho r dr d\theta dz - r d\theta dr \rho g I_r dz = 0 \quad (8)$$

dimana:

$$I_r = \frac{v^2}{g r} \quad (9)$$

Untuk arah vertikal digunakan besaran z , sehingga Pers.(9) hanya memenuhi untuk dua keadaan yaitu untuk $r = \infty$ dan untuk $r = \text{konstan}$. Pada kenyataannya distribusi kecepatan

vertikal berubah dari maksimum di permukaan ke minimum di dasar saluran. Oleh karena itu Pers.(9) hanya berlaku untuk suatu elemen tunggal dengan kecepatan diambil kecepatan rata-rata, V_{cp} . Untuk partikel yang bergerak dekat permukaan dengan kecepatan $V > V_{cp}$, maka gaya sentrifugal lebih besar dari tekanan ΔP , sehingga partikelnya bergerak dalam arah radial. Jadi pada dasar saluran terjadi dua macam aliran yaitu ke arah longitudinal dan sekaligus ke arah transversal yang akhirnya menghasilkan aliran tiga dimensi.

Dari pendapat-pendapat di atas, aliran transversal merupakan hal penting yang harus diperhatikan pada setiap belokan saluran. Kemiringan dan aliran transversal menimbulkan perubahan yang agak besar terhadap kecepatan aliran di belokan saluran. Dari hukum kekekalan energi, diketahui bahwa pada permukaan yang naik, kecepatannya turun, sebaliknya pada bagian yang permukaannya turun terjadi peningkatan kecepatan.

Penyebab lain adanya distribusi kecepatan di belokan saluran adalah pertukaran momentum antara aliran horisontal dan aliran transversal. Dalam hal ini kenaikan permukaan pada awal belokan akan meningkatkan kecepatan di dekat tepi cembung dan menurun di dekat tepi cekung.

Karena pemisahan aliran dari dinding saluran dan letak daerah pusaran air, maka akan terjadi aliran ke arah radial di belokan. Aliran ini sangat tergantung pada perubahan distribusi energi kinetik yang terjadi sebagai

akibat dari pemisahan aliran tersebut. Aliran transversal menimbulkan perpindahan ke arah transversal sedangkan aliran radial menimbulkan perpindahan ke arah belokan sebelah dalam, sehingga endapan yang dibawa aliran tidak hanya bergerak ke arah memanjang saluran, tetapi juga ke arah melintang. Oleh karena itu kedalaman saluran pada tepi cekung menjadi lebih dalam, dan pada tepi cembung menjadi lebih dangkal.

Analisa Teoritis Aliran Pada Belokan Saluran Terbuka

Persamaan-persamaan umum yang akan dibahas kemudian merupakan persamaan pendekatan untuk aliran turbulen. Dalam penyelidikan dengan disertai percobaan dihasilkan persamaan semi empiris dengan koefisien viskositasnya ν_T sebagai berikut

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \right]$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(A \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) \right]$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(A \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\partial v_z}{\partial y} \right)$$

(10)

Perpustakaan
Universitas Teknik Parahyangan
Jl. Merdeka 19
BANDUNG

$$\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \right]$$

Dengan persamaan kontinuitas sebagai berikut

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (11)$$

Untuk mempelajari aliran pada belokan, persamaan dengan koordinat silinder sangat tepat digunakan. Analog dengan Pers.(10), persamaan aliran turbulen dalam koordinat silinder adalah

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\theta^2}{r} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu_r \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \right. \\ &\left. \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_\theta}{r^2} \right) + 2 \frac{\partial v_r}{\partial r} \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{r \partial \theta} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r} \right) + \frac{\partial v_r}{\partial z} \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{v_r v_\theta}{r} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{r \partial \theta} + \nu_r \left(\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} + \right. \\ &\left. \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta}{r^2} \right) + \frac{\partial v_r}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r} \right) + 2 \frac{\partial v_r}{r \partial \theta} \left(\frac{\partial v_\theta}{r \partial \theta} + \frac{v_r}{r} \right) + \frac{\partial v_r}{\partial z} \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} &= -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu_r \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \frac{1}{z} \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \\ &\frac{\partial v_r}{\partial r} \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) + \frac{\partial v_r}{r \partial \theta} \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{r \partial \theta} \right) + 2 \frac{\partial v_r}{\partial z} \frac{\partial v_z}{\partial z} \\ \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_\theta}{r \partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Persamaan yang diperoleh di atas terlihat sangat rumit dan sukar pemakaiannya. Untuk kondisi saluran dengan perbandingan antara kedalaman dan lebar atau jari-jari belokannya cukup besar, Pers.(12) di atas bisa disederha-

nakan menjadi :

$$v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_\theta \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\theta^2}{r} = -g I_r + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_r \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) \quad (14)$$

$$v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{v_r v_\theta}{r} = g I_\theta + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right)$$

Dengan persamaan kontinuitas sebagai berikut

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_\theta}{r \partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (15)$$

Selanjutnya distribusi kecepatan dan koefisien viskositas turbulen dinyatakan dalam fungsi-fungsi yang berbeda dan dibagi dalam dua kelompok besar.

Kelompok I, distribusi kecepatan mengikuti fungsi ellips dengan batas kecepatan minimum di dasar saluran dan maksimum pada permukaannya. A.V. Karaushev merumuskan distribusi kecepatan tersebut sebagai berikut :

$$V = V_{max} \sqrt{1 - p(1 - \eta)^2} \quad (16)$$

dimana : $p = \frac{M}{C} \frac{V_{cp}^2}{V_{max}^2}$; $M = 0,7 C + 6,0$; $V_{max} = 1,11 \frac{C}{C-1} V_{cp}$

Besarnya koefisien A dinyatakan dengan persamaan

$$A = \frac{\partial h V}{M C} \quad ; \quad v_r = \frac{g h V}{M C} \quad (17)$$

Kelompok II, distribusi kecepatan menurut fungsi logaritma dan eksponensial. Menurut kelompok ini, kecepatan maksimumnya terdapat di bagian pusat aliran dan semakin mengecil ke dasar dan ke permukaannya. Menurut L.

Prandtl, rumus distribusi kecepatannya adalah

$$v = v_{cp} \left[1 + \frac{\sqrt{g}}{x c} (1 + \ln \eta) \right] \quad (18)$$

$$\frac{A}{P} = v_r = x h v_{cp} \frac{\sqrt{g}}{c} \eta (1 - \eta) \quad (19)$$

Dalam beberapa kasus, komponen kecepatan transversal v_r dan v_z adalah kecil dibandingkan dengan komponen kecepatan v_θ , oleh karena itu suku $v_r \frac{\partial v_r}{\partial z}$ dan $v_z \frac{\partial v_r}{\partial z}$ pada ruas kiri Pers.(14) dapat diabaikan sehingga Pers.(14) menjadi :

$$-\frac{v_\theta^2}{r} + g I_r = \frac{\partial}{\partial z} \left(v_r \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) \quad (14')$$

Setelah disubstitusikan $z = \eta h$ dan diintegrasikan terhadap η serta mengambil nilai v dari Pers.(18) dan Pers.(19) dan dihubungkan dengan persamaan $\int_0^h v_r dz = 0$, maka akan diperoleh

$$v_r = \frac{h}{r} \frac{v_{cp}}{x} \frac{\sqrt{g}}{c} \left\{ \left[\left(\frac{c}{\sqrt{g}} + \frac{1}{x} \right)^2 - \frac{g r I_r}{v_{cp}^2} \frac{c^2}{g} \right] (\ln \eta + 1) - \frac{2}{x} \left(\frac{c}{\sqrt{g}} + \frac{1}{x} \right) f_1(\eta) + \frac{1}{x^2} f_2(\eta) \right\} \quad (20)$$

Solusi di atas belum lengkap, karena besarnya kemiringan transversal dari permukaan air belum diketahui. Kemiringan ini bergantung pada kecepatan rata-rata, jari-jari kelengkungan dan tekanan geseran τ_{r0} pada dasar.

Nilai τ_{r0} akan dihitung dengan cara pendekatan dengan kondisi untuk dasar saluran yang licin. Kondisi keseimbangan untuk suatu kolom air pada ketinggian σ adalah

$$\rho \int_0^{\sigma} \frac{v_0^2}{r} dr dz + T_{r0} dr - \rho g I_r dr \sigma = 0 ; T_{r0} = \rho g I_r \sigma - \int_0^{\sigma} \frac{v_0^2}{r} dz \quad (21)$$

sehingga:
$$T_{r0} < \rho g I_r \sigma = \rho g I_r h \frac{\sigma}{h} \quad (22)$$

Pada penyelidikan dasar saluran yang dilakukan oleh para peneliti, boleh dinyatakan bahwa untuk dinding yang licin, σ adalah besaran yang sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

Koefisien α_0 dapat dicari dari persamaan :

$$\alpha_0 = \frac{\int_0^1 \frac{v_0^2}{r g} d\eta}{\frac{v_{cp}^2}{r g}} = \frac{1}{v_{cp}^2} \int_0^1 v_0^2 d\eta \quad (23)$$

Substitusi nilai v_0 dari Pers.(18), akan diperoleh :

$$\alpha_0 = 1 + \frac{g}{x^2 c^2} \quad (24)$$

Substitusi koefisien-koefisien di atas ke dalam Pers.(20) diperoleh :

$$v_r = \frac{1}{x^2} v_{cp} \frac{h}{r} [2(\ln \eta + 1) - f_1(\eta)] + \frac{\sqrt{g}}{x c} [f_2(\eta) - 2 f_1(\eta)] \quad (25)$$

Dalam penyelidikan di laboratorium diambil nilai rata-rata parameter $x = 0,5$ sehingga Pers.(25) menjadi :

$$v_r = 4 v_{cp} \frac{h}{r} [F_1(\eta) - \frac{2\sqrt{g}}{c} F_2(\eta)] \quad (25')$$

Perbandingan Hasil Analisa Teoritis dan Percobaan di Laboratorium

Disini akan dibandingkan hasil-hasil perhitungan dan percobaan terhadap distribusi kecepatan vertikal pada belokan aliran turbulen, yaitu antara hasil penyelidikan laboratorium, perhitungan dengan fungsi eksponen, fungsi parabola, fungsi ellips dan fungsi logaritma.

Persamaan-persamaan untuk komponen kecepatan V_r dan kecepatan total V adalah

1. Menurut fungsi logaritma

$$V_r = \frac{1}{x^2} V_{cp} \frac{h}{r} [2(\ln \eta + 1) - f_1(\eta)] + \frac{\sqrt{g}}{x^2 C} [f_2(\eta) - 2f_1(\eta)] \quad (25)$$

$$V = V_{cp} \left[1 + \frac{\sqrt{g}}{x^2 C} (1 + \ln \eta) \right] \quad (26)$$

2. Menurut fungsi eksponen

$$V_r = \frac{49}{8} V_{cp} \frac{h}{r} \frac{c^2}{g} \left[\frac{\eta^{1/6}}{3} - \eta^{1/6} + \frac{1}{4} \ln \frac{\eta^{1/3} + \eta^{1/6} + 1}{\eta^{1/3} \eta^{1/6} + 1} + \right. \quad (27)$$

$$\left. \frac{3}{2\sqrt{3}} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2\eta^{1/6} - 1}{\sqrt{3}} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2\eta^{1/6} + 1}{\sqrt{3}} \right] + \text{konstanta}$$

$$V = (n + 1) V_{cp} \eta^n \quad (28)$$

3. Menurut fungsi parabola

$$V_r = \frac{1}{3} V_{cp} \frac{h}{r} \frac{m^2}{g} (1 - 0,067 \frac{m}{C}) \left[(2\eta - \eta^2)^2 - \frac{8}{15} \right] \quad (29)$$

$$V = V_{max} - m \sqrt{h\ell} (1 - \eta)^2 \quad (30)$$

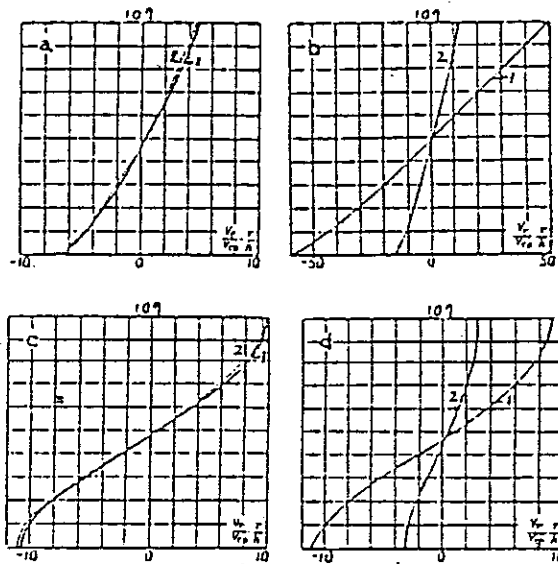
4. Menurut fungsi ellips :

$$V_r = \frac{g}{3} \frac{1}{\sqrt{1-P} + \frac{\operatorname{arc} \sin \sqrt{P}}{\sqrt{P}}} \frac{c^2}{g} V_{cp} \frac{h}{r} \left\{ \frac{1}{3} \left[\sqrt{1-P(1-\eta)^2} \right]^3 - (1-P) \sqrt{1-P(1-\eta)^2} - \right. \quad (31)$$

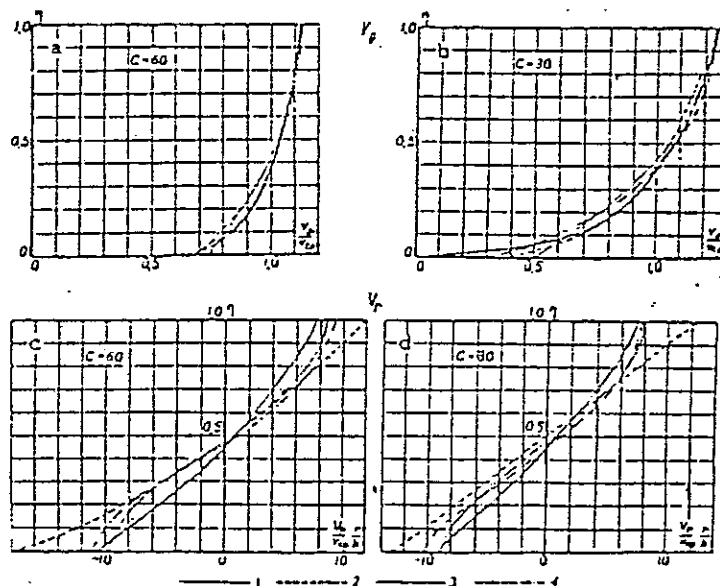
$$\left. - \frac{1}{2} P \left[\sqrt{1-P} + \frac{\operatorname{arc} \sin \sqrt{P}}{\sqrt{P}} \right] + \frac{3}{8} \left[\sqrt{1-P} + \frac{\operatorname{arc} \sin \sqrt{P}}{\sqrt{P}} - \frac{2}{9} \sqrt{(1-P)^3} \right] \right\}$$

$$V = V_{max} \sqrt{1-P(1-\eta)^2} \quad (32)$$

Dalam gambar-gambar berikut ini, diperlihatkan kurva-kurva distribusi kecepatan yang membandingkan hasil perhitungan berdasarkan persamaan-persamaan di atas.

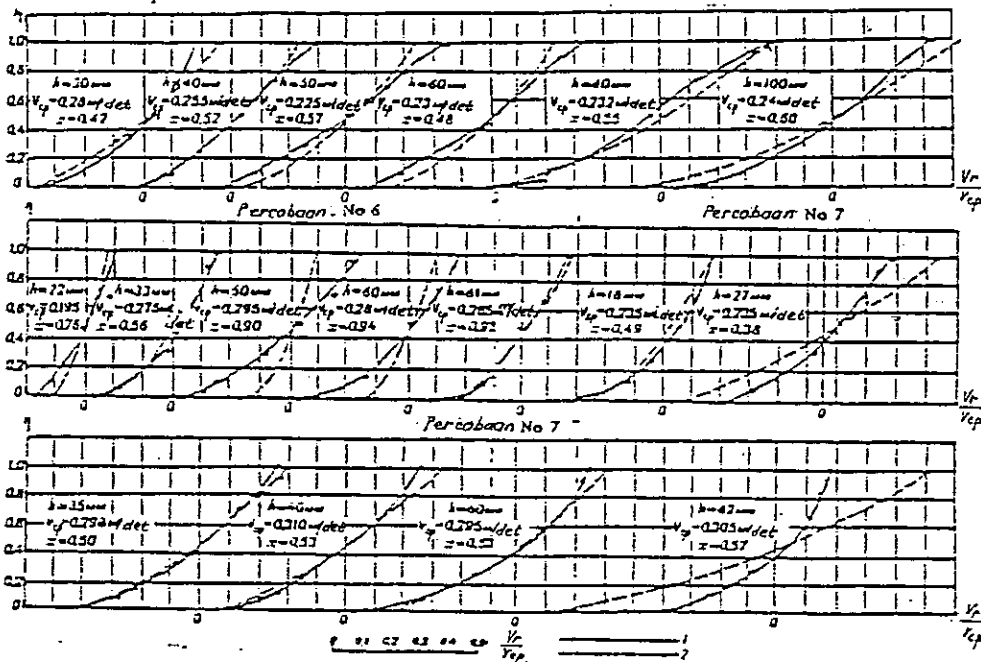


Gambar 2. Distribusi kecepatan V_r
 a- dari Pers. (25)
 b- dari Pers. (27) 1- $C=60$ [1]
 c- dari Pers. (29) 2- $C=30$
 d- dari Pers. (31)



Gambar 3. Kurva distribusi kecepatan sepanjang vertikal
 1- dari Pers. (26) 3- dari Pers. (30) [1]
 2- dari Pers. (28) 4- dari Pers. (32)

Dibandingkan dengan hasil percobaan di laboratorium terlihat bahwa kurva kecepatan berdasarkan persamaan logaritma (Pers.25) yang paling mendekati kurva hasil percobaan. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan antara kurva kecepatan hasil perhitungan dengan Pers.(25) dengan hasil percobaan [1]
 1- kurva hasil percobaan
 2- kurva hasil perhitungan

Dari Gambar 4 terlihat bahwa untuk jari-jari belokan yang lebar, semakin besar kedalaman aliran, perbedaan kecepatan pada permukaan dan dasar saluran juga meningkat. Akibatnya pada kondisi tersebut, penggerusan di dasar saluran juga meningkat. Berdasarkan hasil percobaan, pada kondisi belokan dengan perbandingan b/h atau $r/h = 10-20$, terlihat bahwa belokan relatif stabil karena penggerusan dan pengendapan yang terjadi relatif kecil.

K e s i m p u l a n

1. Untuk aliran dalam saluran dengan perbandingan antara lebar saluran atau jari-jari belokan dengan kedalaman yang cukup besar (b/h atau $r/h = 10-20$), maka persamaan aliran turbulen dapat disederhanakan dengan mengabaikan beberapa suku dari persamaan dasar.
2. Hasil percobaan di laboratorium membuktikan bahwa distribusi kecepatan sepanjang vertikal paling baik dinyatakan dalam persamaan logaritma.
3. Perumusan yang dibesikan untuk masalah distribusi kecepatan aliran pada belokan saluran ini, dibatasi untuk keadaan dasar saluran yang licin.

Daftar Pustaka

1. Rozovskii, I.L., Flow of Water in Bends of Open Channels, The Academy of Sciences of The Ukrainian SSR, Kiev, 1957.
2. Chow, V.T., Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1959.
3. Tamai, N., and Ikeya, Tsuyoshi., 'An Analytical Three Dimensional Approach to The Flow in Rectangular Meandering Channels', Proceedings of the Fourth Congress Asian and Pacific Division International Association for Hydraulic Research, Chiang Mai, Thailand, September 11-13, 1984.
4. Purcell, Edwin. J., Calculus with Analytic Geometry, Third Edition, University of Arizona, 1984.

Daftar Notasi

A	= koefisien viskositas turbulen
C	= koefisien Chezy
g	= percepatan gravitasi, m/det ²
h	= kedalaman saluran, m
I_r	= kemiringan transversal
I_θ	= kemiringan longitudinal
m	= parameter fungsi parabola
n	= parameter fungsi eksponen
p	= parameter fungsi ellips
P	= tekanan air dinamis, N/m ²
r, θ, z	= komoonen koordinat silinder
R_s	= gaya sentrifugal, N/m ²
t	= waktu, detik
T	= gaya geser pada dasar saluran, N/m ²
V_{cp}	= kecepatan rata-rata, m/det
V_r, V_θ, V_z	= komponen kecepatan koordinat silinder, m/det
V_x, V_y, V_z	= komponen kecepatan koordinat kartesian, m/det
x	= parameter fungsi logaritma
x, y, z	= komponen koordinat kartesian, dengan z komponen vertikal
α_0	= koefisien kecepatan aliran di belokan saluran
r	= jarak relatif dari dasar saluran, m
ν_t	= koefisien kekentalan kinematis turbulen
ρ	= kerapatan zat cair, kg/m ³
r	= jarak partikel air ke dasar saluran, m
τ_{ro}	= komponen gaya geser radial, N/m ²